

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 1 年 3 月 2 1 日

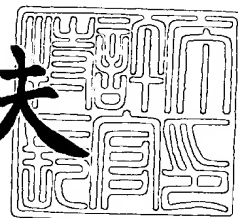
出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 1 - 0 7 9 6 9 5
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 1 - 0 7 9 6 9 5]

出 願 人
Applicant(s): 株式会社ニコン

2 0 0 3 年 8 月 1 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 7 6 3 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 01-00225

【提出日】 平成13年 3月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 9/08

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 中山 繁

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 玄間 隆志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 瀧川 雄一

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代表者】 吉田 庄一郎

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-105156

【出願日】 平成12年 4月 6日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 005223

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【プルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 面形状測定装置、波面収差測定装置およびこれらを用いて製造された投影レンズ

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束及び前記測定用光束との位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の位相状態における各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えた面形状測定装置。

【請求項 2】

光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた前記参照用光束の位相状態における前記参照用光束と前記測定用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えた面形状測定装置。

【請求項 3】

光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、
前記位相変化機構に基づいて変化させた前記測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、
を備えた面形状測定装置。

【請求項 4】

前記参照用光束と前記測定用光束との基準に対する位相変化量が同じであって、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とする請求項 1 記載の面形状測定装置。

【請求項 5】

前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項 1、2、4 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 6】

前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項 1、3、4 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 7】

前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉が、ヘテロダイン干渉であることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の面形状測定装置。

【請求項 8】

前記基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ となる 4 つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差データを取得することを特徴とする請求項 1～7 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 9】

前記基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 0 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 π 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$ となる 8 つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差データを取得することを特徴とする請求項 1～7 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 10】

前記基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 2π 以上の範囲であって、不規則の複数の状態での測定用光束と参照用光束との各位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項11】

光源から出射された光の一部である被検物を透過した測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束と測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた前記参照用光束と前記測定用光束との位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、
を備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

【請求項12】

光源から出射された光の一部である被検物を透過した測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、
前記位相変化機構に基づいて変化させた前記複数の参照用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、
を備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

【請求項13】

光源から出射された光の一部である被検物を透過した測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、
前記位相変化機構に基づいて変化させた前記複数の測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、
を備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

【請求項 14】

前記参照用光束と前記測定用光束の基準に対する位相変化量が同じであって、
前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とする請求項 11 記載の波面収差測定装置。

【請求項 15】

前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項 11、12、14 のいずれか記載の波面収差測定装置。

【請求項 16】

前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項 11、13、14 のいずれか記載の波面収差測定装置。

【請求項 17】

前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉がヘテロダイン干渉であることを特徴とする請求項 11～14 のいずれか 1 項記載の波面収差測定装置。

【請求項 18】

基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ となる 4 つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項 11～17 記載の波面収差測定装置。

【請求項 19】

基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 0 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 π 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$ となる 8 つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項 11～17 記載の波面収差測定装置。

【請求項 20】

基準に対する参照用光束あるいは測定用光束の位相変化量が 2π 以上の範囲で

ばらついた複数の状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することとを特徴とする請求項 11～17 記載の波面収差測定装置。

【請求項 21】

請求項 1～10 のいずれか記載の面形状測定装置を用いて測定・面創製を行った光学素子を備えた投影レンズ。

【請求項 22】

請求項 11～20 のいずれか記載の波面収差測定装置を用いて測定・組み立て調整を行った投影レンズ。

【請求項 23】

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより前記被検面の面形状を測定する面形状測定方法において、

前記干渉による位相差を一定に保ちつつ、所定基準位置から前記被検面及び前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた面形状測定方法。

【請求項 24】

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、

該干渉による位相差を検出することにより前記被検面の面形状を測定する面形状測定方法において、

所定基準位置から前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた面形状測定方法。

【請求項 25】

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、
該干渉による位相差を検出することにより前記被検面の面形状を測定する面形状測定方法において、

所定基準位置から前記被検面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた面形状測定方法。

【請求項 26】

前記位相差の検出工程において、前記測定用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項 23 又は 24 に記載の面形状測定方法。

【請求項 27】

前記位相差の検出工程において、前記参照用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項 23 又は 25 に記載の面形状測定方法。

【請求項 28】

前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉が、ヘテロダイン干渉であることを特徴とする請求項 23～27 のいずれか一項に記載の面形状測定方法。

【請求項 29】

前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ と移動させる工程であることを特徴とする請求項 23～28 のいずれか一項に記載の面形状測定方法。

【請求項 30】

前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 π 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$ 、 2π と移動させる工程であることを特徴とする請求項 23～28 のいずれか一項に記載の面形状

測定方法。

【請求項 3 1】

前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、移動量全体が位相変化量として 2π 以上であって、前記所定量が不規則な量であることを特徴とする請求項 2 3 ~ 2 8 のいずれか一項に記載の面形状測定方法。

【請求項 3 2】

検出器により、被検物を透過した測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定方法において、

前記干渉による位相差を一定に保ちつつ、所定基準位置から前記被検物、前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラー及び前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた波面収差測定方法。

【請求項 3 3】

検出器により、被検物を透過した測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定方法において、

所定基準位置から前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた波面収差測定方法。

【請求項 3 4】

検出器により、被検物を透過した測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定方法において、

所定基準位置から前記被検物及び前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラーを所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた波面収差測定方法。

【請求項 35】

前記位相差の検出工程において、前記測定用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項 32 又は請求項 33 記載の波面収差測定方法。

【請求項 36】

前記位相差の検出工程において、前記参照用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項 32 又は請求項 34 記載の波面収差測定方法。

【請求項 37】

前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉がヘテロダイン干渉であることを特徴とする請求項 32 ～請求項 36 記載の波面収差測定方法。

【請求項 38】

前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ と移動させる工程であることを特徴とする請求項 32 ～37 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法。

【請求項 39】

前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 π 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$ 、 2π と移動させる工程であることを特徴とする請求項 32 ～37 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法。

【請求項 40】

前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、移動量全体が位相変化量として 2π

以上であって、前記所定量が不規則な量であることを特徴とする請求項 32～37 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法。

【請求項 41】

光源と、検出器と、前記光源からの光を被検面及び基準面へ導く一方、前記被検面及び基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた面形状測定装置において、

前記被検面からの反射光と前記基準面からの反射光との干渉による位相差を一定に保ちつつ、所定基準位置から前記被検面及び前記基準面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における各位相差を検出し、各位相差の平均値を算出する機構と、
を備えた面形状測定装置。

【請求項 42】

光源と、検出器と、前記光源からの光を被検面及び基準面へ導く一方、前記被検面及び基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた面形状測定装置において、

所定基準位置から前記基準面又は前記被検面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における各位相差を検出し、各位相差の平均値を算出する機構と、
を備えた面形状測定装置。

【請求項 43】

光源と、検出器と、前記光源からの光を被検物及び基準面へ導く一方、前記被検物からの透過光と前記基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた波面収差測定装置において、

所定基準位置から前記被検物、前記光学系に含まれ前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラー及び前記基準面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における前記透過光と前記反射光との干渉による位相差を検出し、前記位相差の平均値を算出する機構と

を備えた波面収差測定装置。

【請求項 4 4】

光源と、検出器と、前記光源からの光を被検物及び基準面へ導く一方、前記被検物からの透過光と前記基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた波面収差測定装置において、

所定基準位置から前記被検物及び前記光学系に含まれ前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラー、又は前記基準面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における前記透過光と前記反射光との干渉による位相差を検出し、前記位相差の平均値を算出する機構と、を備えた波面収差測定装置。

【請求項 4 5】

請求項 2 3 ～ 3 1 のいずれか記載の面形状測定方法を用いて測定・面創製を行った光学素子を備えた投影レンズ。

【請求項 4 6】

請求項 3 2 ～ 4 0 のいずれか記載の波面収差測定方法を用いて測定・組み立て調整を行った投影レンズ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レンズ、ミラーなどの光学素子等の面形状を高精度に測定するための面形状測定装置、及び投影レンズ等の波面収差を高精度に測定するための波面収差測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、高精度の光学機器の需要に伴い、その機器を構成するレンズやミラー等の光学素子は高精度化する傾向にある。そのため、光学素子の面形状を測定する面形状測定装置にも、高い精度が求められるようになっている。

【0003】

また、ステッパーの投影レンズなどの高精度なレンズでは、投影レンズの波面収差を測定して、その情報をもとに組立調整を行うことも行われている。この波面収差測定装置にも高い精度が求められるようになっている。

一般に、面形状測定や波面収差測定にはフィゾー干渉計などの干渉計が広く用いられている。高い精度が求められるにつれて、干渉計やフィゾーレンズなどの光学部品からの反射ノイズ光が問題となってくる。光学系の設計においては、できるだけ反射ノイズ光が測定に影響しないように配慮され、ARコートを施すなどの対策もなされている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、面形状測定装置における光学設計において、光学系中で生じる多重反射光のすべてに配慮した設計は困難であり、さらにARコートによる反射低減も干渉測定に対して十分なものとは言い難い。

【0005】

さらに、光軸近傍の光線は、各レンズ面に垂直に近い角度で入射するため、正反射光ノイズを避けることは困難であった。

そこで、本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであり、レンズ、ミラーなどの光学素子等の面形状を高精度に測定できる面形状測定装置及び投影レンズの波面収差を高精度に測定できる波面収差測定装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するための第一の手段は、光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束及び前記測定用光束との位相を

変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の位相状態における各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えた面形状測定装置（請求項 1）である。

【0007】

前記課題を解決するための第二の手段は、光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた前記参照用光束の位相状態における前記参照用光束と前記測定用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えた面形状測定装置（請求項 2）である。

【0008】

前記課題を解決するための第三の手段は、光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた前記測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えた面形状測定装置（請求項 3）である。

【0009】

前記課題を解決するための第四の手段は、前記参照用光束と前記測定用光束との基準に対する位相変化量が同じであって、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とする請求項 1 記載の面形状測定装置（請求項

4)である。

【0010】

前記課題を解決するための第五の手段は、前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項1、2、4のいずれか記載の面形状測定装置（請求項5）である。

前記課題を解決するための第六の手段は、前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項1、3、4のいずれか記載の面形状測定装置（請求項6）である。

【0011】

前記課題を解決するための第七の手段は、前記光源が周波数の異なる直交した偏光面を有するヘテロダイン干渉法を行うことを特徴とする請求項1～4のいずれか記載の面形状測定装置（請求項7）である。

前記課題を解決するための第八の手段は、前記基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ となる4つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置（請求項8）である。

【0012】

前記課題を解決するための第九の手段は、前記基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が0、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ ・・・ $7\pi/4$ となる8つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置（請求項9）である。

【0013】

前記課題を解決するための第十の手段は、前記基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 2π 以上の範囲であって、不規則の複数の状態での測定用光束と参照用光束との各位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置（請求項10）である。

【0014】

前記課題を解決するための第十一の手段は、光源から出射された光の一部である被検物を透過した測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である

基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束と測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた前記参照用光束と前記測定用光束との位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えたことを特徴とする波面収差測定装置（請求項 11）である。

【0015】

前記課題を解決するための第十二の手段は、光源から出射された光の一部である被検物を透過した測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、前記位相変化機構に基づいて変化させた前記複数の参照用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えたことを特徴とする波面収差測定装置（請求項 12）である。

【0016】

前記課題を解決するための第十三の手段は、光源から出射された光の一部である被検物を透過した測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた前記複数の測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との各位相差を検出し、各位相差情報の平

均値を算出する機構と、

を備えたことを特徴とする波面収差測定装置（請求項 13）である。

【0017】

前記課題を解決するための第十四の手段は、前記参照用光束と前記測定用光束の基準に対する位相変化量が同じであって、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とする請求項 11 記載の波面収差測定装置（請求項 14）である。

【0018】

前記課題を解決するための第十五の手段は、前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする

請求項 11、12、14 のいずれか記載の波面収差測定装置（請求項 15）である。

【0019】

前記課題を解決するための第十六の手段は、前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする

請求項 11、13、14 のいずれか記載の波面収差測定装置（請求項 16）である。

【0020】

前記課題を解決するための第十七の手段は、前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉がヘテロダイン干渉であることを特徴とする請求項 11～14 のいずれか 1 項記載の波面収差測定装置（請求項 17）である。

【0021】

前記課題を解決するための第十八の手段は、基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ となる 4 つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項 11～17 記載の波面収差測定装置（請求項 18）である。

【0022】

前記課題を解決するための第十九の手段は、基準に対する参照用光束又は測定

用光束の位相変化量が 0 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ ・・・ $7\pi/4$ となる8つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項11～17記載の波面収差測定装置（請求項19）である。

【0023】

前記課題を解決するための第二十の手段は、基準に対する参照用光束あるいは測定用光束の位相変化量が 2π 以上の範囲でばらついた複数の状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項11～17記載の波面収差測定装置（請求項20）である。

【0024】

前記課題を解決するための第二十一の手段は、請求項1～10のいずれか記載の面形状測定装置を用いて測定・面創製を行った光学素子を備えた投影レンズ（請求項21）である。

前記課題を解決するための第二十二の手段は、請求項11～20のいずれか記載の波面収差測定装置を用いて測定・組み立て調整を行った投影レンズ（請求項22）である。

【0025】

前記課題を解決するための第二十三の手段は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより前記被検面の面形状を測定する面形状測定方法において、

前記干渉による位相差を一定に保ちつつ、所定基準位置から前記被検面及び前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた面形状測定方法（請求項23）である。

【0026】

前記課題を解決するための第二十四の手段は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉さ

せ、

該干渉による位相差を検出することにより前記被検面の面形状を測定する面形状測定方法において、

所定基準位置から前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、

を備えた面形状測定方法（請求項 24）である。

【0027】

前記課題を解決するための第二十五の手段は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、

該干渉による位相差を検出することにより前記被検面の面形状を測定する面形状測定方法において、

所定基準位置から前記被検面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、

を備えた面形状測定方法（請求項 25）である。

【0028】

前記課題を解決するための第二十六の手段は、前記位相差の検出工程において、前記測定用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項 23 又は 24 に記載の面形状測定方法（請求項 26）である。

前記課題を解決するための第二十七の手段は、前記位相差の検出工程において、前記参照用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項 23 又は 25 に記載の面形状測定方法（請求項 27）である。

【0029】

前記課題を解決するための第二十八の手段は、前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉が、ヘテロダイン干渉であることを特

徴とする請求項 23～27 のいずれか一項に記載の面形状測定方法（請求項 28）である。

【0030】

前記課題を解決するための第二十九の手段は、前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ と移動させる工程であることを特徴とする請求項 23～28 のいずれか一項に記載の面形状測定方法（請求項 29）である。

【0031】

前記課題を解決するための第三十の手段は、前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 π 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$ 、 2π と移動させる工程であることを特徴とする請求項 23～28 のいずれか一項に記載の面形状測定方法（請求項 30）である。

【0032】

前記課題を解決するための第三十一の手段は、前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、移動量全体が位相変化量として 2π 以上であって、前記所定量が不規則な量であることを特徴とする請求項 23～28 のいずれか一項に記載の面形状測定方法（請求項 31）である。

【0033】

前記課題を解決するための第三十二の手段は、検出器により、被検物を透過した測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定方法において、

前記干渉による位相差を一定に保ちつつ、所定基準位置から前記被検物、前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラー及び前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた波面収差測定方法（請求項 32）である。

【0034】

前記課題を解決するための第三十三の手段は、検出器により、被検物を透過した測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定方法において、

所定基準位置から前記基準面を所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた波面収差測定方法（請求項33）である。

【0035】

前記課題を解決するための第三十四の手段は、検出器により、被検物を透過した測定用光束と基準面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定方法において、

所定基準位置から前記被検物及び前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラーを所定量ずつ複数回移動させる工程と、

前記複数回移動させた複数の各位置における前記位相差を前記検出器により検出する工程と、

前記複数の位相差情報の平均値を算出する工程と、
を備えた波面収差測定方法（請求項34）である。

【0036】

前記課題を解決するための第三十五の手段は、前記位相差の検出工程において、前記測定用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項32又は請求項33記載の波面収差測定方法（請求項35）である。

前記課題を解決するための第三十六の手段は、前記位相差の検出工程において、前記参照用光束の位相変調による位相シフト干渉法が用いられることを特徴とする請求項32又は請求項34記載の波面収差測定方法（請求項36）である。

【0037】

前記課題を解決するための第三十七の手段は、前記測定用光束と前記参照用光束との周波数がわずかに異なり、前記干渉がヘテロダイン干渉であることを特徴とする請求項請求項 32～請求項 36 記載の波面収差測定方法（請求項 37）である。

【0038】

前記課題を解決するための第三十八の手段は、前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、初期状態 0 から $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ と順次移動させる工程であることを特徴とする請求項 32～37 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法（請求項 38）である。

【0039】

前記課題を解決するための第三十九の手段は、前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、位相変化量として初期状態 0 から $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 π 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$ 、 2π と移動させる工程であることを特徴とする請求項 32～37 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法（請求項 39）である。

【0040】

前記課題を解決するための第四十の手段は、前記所定量ずつ複数回移動させる工程が、移動量全体が位相変化量として 2π 以上であって、前記所定量が不規則な量であることを特徴とする請求項 32～37 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法（請求項 40）である。

【0041】

前記課題を解決するための第四十一の手段は、光源と、検出器と、前記光源からの光を被検面及び基準面へ導く一方、前記被検面及び基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた面形状測定装置において、

前記被検面からの反射光と前記基準面からの反射光との干渉による位相差を一定に保ちつつ、所定基準位置から前記被検面及び前記基準面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における各位相差を検出し、各位相差の平均値を算出する機構と、

を備えた面形状測定装置（請求項 4 1）である。

【0042】

前記課題を解決するための第四十二の手段は、光源と、検出器と、前記光源からの光を被検面及び基準面へ導く一方、前記被検面及び基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた面形状測定装置において、

所定基準位置から前記基準面又は前記被検面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における各位相差を検出し、各位相差の平均値を算出する機構と、

を備えた面形状測定装置（請求項 4 2）である。

【0043】

前記課題を解決するための第四十三の手段は、光源と、検出器と、前記光源からの光を被検物及び基準面へ導く一方、前記被検物からの透過光と前記基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた波面収差測定装置において、

所定基準位置から前記被検物、前記光学系に含まれ前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラー及び前記基準面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における前記透過光と前記反射光との干渉による位相差を検出し、前記位相差の平均値を算出する機構と、

を備えた波面収差測定装置（請求項 4 3）である。

【0044】

前記課題を解決するための第四十四の手段は、光源と、検出器と、前記光源からの光を被検物及び基準面へ導く一方、前記被検物からの透過光と前記基準面からの反射光を前記検出器へ導く光学系とを備えた波面収差測定装置において、

所定基準位置から前記被検物及び前記光学系に含まれ前記被検物を透過した光を再び前記被検物に透過させるためのミラー、又は前記基準面を所定量移動させる機構と、

前記移動機構に基づいて所定量移動させた複数の位置における前記透過光と前記反射光との干渉による位相差を検出し、前記位相差の平均値を算出する機構と

、を備えた波面収差測定装置（請求項 44）である。

【0045】

前記課題を解決するための第四十五の手段は、請求項 23～31 のいずれか記載の面形状測定方法を用いて測定・面創製を行った光学素子を備えた投影レンズ（請求項 45）である。

前記課題を解決するための第四十六の手段は、請求項 32～40 のいずれか記載の波面収差測定方法を用いて測定・組み立て調整を行った投影レンズ（請求項 46）である。

【0046】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態の面形状測定装置を図面に参照して説明する。

図 1 は、第一実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

1 はレーザー光源、2、5 はビームエキスパンダ、3 は偏光ビームスプリッター、4 は $\lambda/4$ 板、6 はフィゾーレンズ、7 は被検物、8 は基準原器、9 はビーム径変換光学系、10 は 2 次元画像検出器である。

【0047】

レーザー光源 1 から照射された直線偏光 L は、ビームエキスパンダ 2 でビーム径を変換され、偏光ビームスプリッター（以下、PBS という）3 に入射する。

偏光光 L の偏光面は、PBS 3 で反射されるように選ばれている。PBS 3 で反射された偏光光 L は、 $\lambda/4$ 板 4 およびビームエキスパンダ 5 を経てフィゾーレンズ 6 に入射する。

【0048】

フィゾーレンズ 6 のフィゾー面 6a からの反射光は、参照用光束として用いられる。参照用光束は、再びビームエキスパンダ 5、 $\lambda/4$ 板 4 を経て PBS 3 を透過し、ビーム径変換光学系 9 でビーム径を変換された後、2 次元画像検出器 10 に入射する。

【0049】

一方、フィゾー面（参照面）6a を透過した透過光は、測定用光束として用いられる。測定用光束は、所定の位置に配置された被検物 7 の被検面 7a で反射さ

れ、再びフィゾーレンズ6、ビームエキスパンダ5、 $\lambda/4$ 板4を経てPBS3へ入射する。PBS3を透過した測定用光束はビーム径変換光学系9でビーム径を変換された後、2次元画像検出器10に入射する。

【0050】

参照用光束と測定用光束との干渉により、2次元画像検出器10では、干渉縞が検出される。

なお、PBS3において反射した偏光光は、往復で $\lambda/4$ 板4を2度通過する（被検レンズまでの光路を往路といい、被検レンズからの光路を復路という）ことにより、偏光面が90度回転するので、復路ではPBS3を透過する。

【0051】

また、ビーム径変換光学系9は、被検物7の被検面7aの像を2次元画像検出器10に結像する役割も兼ねており、被検面7aの形状を正確に知るために、ディストーションを抑えた設計にしている。ディストーションの設計値や実測値を用いて、干渉縞の横座標を補正することによって、被検面7a上の座標と2次元画像検出器10上での座標を正確に関係付けることもできる。

【0052】

フィゾーレンズ6、及び被検物7の被検面7a、又は基準原器8のアライメントのために不図示の調整機構を備えている。その調整機構を用いて基準に対する参照用光束および測定用光束の位相をステップさせることができる。

2次元画像検出器10からの出力は、不図示のコンピュータに取り込まれて解析され、干渉縞の位相分布が算出される。本実施例の面形状測定装置では、被検物7の被検面7aを、不図示の被検物用ホルダーに設置されたピエゾ素子により光軸方向に微小に移動（ $0 \sim 2\pi$ の周期を微小に移動）させる周知のいわゆる位相シフト干渉法を用いて干渉縞の位相分布（被検面の各点での位相）を高精度に求めている（以下、測定用光束の位相変調による位相シフト干渉法という）。

【0053】

次に、図2を用いて第一実施形態にかかる面形状測定装置をもちいて被検物の被検面の面形状を測定する動作・データ処理手順を説明する。

図2は、測定動作・データ処理手順をフローチャートで示した図である。

まず、被検物の位相分布を測定する。

【0054】

第一実施形態にかかる面形状測定装置の不図示の被検物用ホルダーに被検物をセッティングし、干渉縞が極力粗くなるように被検物をアライメントする (STEP 1)。

この最初の状態を参照用光束及び測定用光束の基準 (初期位相) とする。

【0055】

この状態において、被検物を前述した位相シフト干渉法を用いて位相分布 (被検面の各点での位相) D_0 を計測する (STEP2)。

次に、フィゾーレンズと被検物との双方を光軸方向に基準に対して $\pi/2$ 相当変位させる (STEP3)。干渉縞の位相分布は、最初の状態 (D_0 計測時) とほぼ同じ状態となっている。前述した位相シフト干渉法を用いて基準に対して $\pi/2$ 移動した位置における位相分布 (被検面の各点での位相) D_1 を計測する (STEP 4)。

【0056】

同様に、基準に対する位相ステップと干渉縞の位相分布計測を繰り返し、位相分布 D_2 、 D_3 を得る (STEP5~STEP8)。

次に、計測して得られた位相分布 $D_0 \sim D_3$ の平均 DA を算出し、 DA を測定用光束と参照用光束との干渉縞の位相分布として、所定の形状誤差算出プロセスへ入力される (STEP9)。

【0057】

複数の位相分布を平均化する理由は、ノイズ光の影響を低減するためであり、ノイズ光の影響低減の原理は後述する。

次に、基準原器 8 の位相分布を測定する。

第一実施形態にかかる面測定装置における被検物 7 を基準原器 8 に代えて、前述した測定と同様の測定を行い、基準原器の干渉縞の位相分布を測定する。

【0058】

被検面 7 a の各点における位相と、基準原器 8 の各点における位相との差を算出する。

なお、本実施形態の面形状測定装置は位相分布の差を算出する機能を備えている。

【0059】

次に、図3を用いて、第一実施形態にかかる面形状測定装置のノイズ光による影響低減の原理を説明する。

図3は、測定用光束の複素振幅及び参照用光束の複素振幅を複素平面上に表したものである。ここで、 R_e は複素振幅の実部であり、 I_m は複素振幅の虚部である。

【0060】

反射ノイズ光は、ビームエキスパンダ5を構成するレンズから発生した場合を想定する。

測定用光束の複素振幅を M とし、ノイズ光がない場合の参照用光束の複素振幅を R_0 とする。

【0061】

測定用光束の複素振幅 M と参照用光束の複素振幅 R_0 とのなす角度が、位相に相当する。

前述したような測定用光束の位相変調した位相シフト干渉法を用いた場合は、ノイズ光は参照用光束に加えられることになる。

【0062】

従って、参照用光束の位相を0（初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせることは、ノイズ光の位相が参照用光束に対して0（図3中N1） $\rightarrow -\pi/2$ （図3中N2） $\rightarrow -\pi$ （図3中N3） $\rightarrow -3\pi/2$ （図3中N4）とステップしたとみなすことができる。

【0063】

参照用光束の複素振幅 R_0 にノイズ光の複素振幅 $N_1 \sim N_4$ を加えたものが $R_1 \sim R_4$ である（ベクトル和である）。

各ステップ状態において、位相シフト干渉法で測定用光束 M と参照用光束 $R_1 \sim R_4$ との位相差が計測されるので、計測された位相差を平均することにより、ノイズ光の影響を低減できる。すなわち、平均化によって測定用光束 M と参照用

光束 R0 との位相差と概ね等しい位相差が検出されることになる。

【0064】

このように本発明では、平均化によってノイズ光の影響を低減することができる。

図4は、第二の実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

第二実施形態の面形状測定装置は、前述した図1に示す第一実施形態の面形状測定装置のフィゾーレンズ6を、フィゾー面12aを有するフィゾー部材12とそれ以外の部分からなるレンズ部11とに分離した構成に置き換えたものである。他の構成は、図1に示した第一実施形態の面形状測定装置と同様である。

【0065】

図1に示すフィゾーレンズ6の内部に反射ノイズ源が存在する場合、参照用光束の位相変化と同じようにノイズ光の位相も変化するので、ノイズ光の影響を低減することはできないが、第二実施形態にかかる面形状測定装置に示すように、フィゾー面12aを有するフィゾー部材12とそれ以外の部分からなるレンズ部11とに分離した構成にすることにより解消できる。

【0066】

なお、第一実施形態にかかる面形状測定装置及び第二実施形態にかかる面形状測定装置による被検面の測定では、基準（初期位相）に対してフィゾーレンズ（参照用光束）と被検物（測定用光束）の双方の位相を 0 （初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせて、各位相において測定用光束の位相変調（ $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法を用いているが、参照用光束の位相変調による位相シフト干渉法を用いてもよい。

【0067】

また、基準（初期位相）に対してフィゾーレンズ（参照用光束）の位相を 0 （初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせて、測定用光束の位相変調（ $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法を用いても良い。

さらに、基準（初期位相）に対して被検物（測定用光束）の位相をステップさせて、フィゾーレンズ（参照用光束）の位相変調（ $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法を用いても良い。

【0068】

図5は、第三実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

第三実施形態の面形状測定装置は、前述した図1に示す第一実施形態の面形状測定装置のフィゾーレンズ6を、平面フィゾー21とNullレンズ22に置き換えた構成である。他の構成は、図1に示した第一実施形態の面形状測定装置と同様である。

【0069】

ビームエキパンダー5を透過した光束のうち、平面フィゾー21のフィゾー面21aの反射光を、参照用光束として用い、フィゾー面21aの透過光を測定用光束として用いる。

Nullレンズ22は、入射波面を被検物7の被検面7a、又は基準原器8に垂直に同位相で入射する波面に変換するように設計されている。

【0070】

即ち、Nullレンズ22は、入射波面を被検物7の被検面7aと同じ形状の波面に変換する素子である。

平面フィゾー21を光軸方向に移動させ、基準に対して位相をステップさせ、各ステップでの測定用光束と参照用光束の位相差を、測定用光束の位相変調 ($0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$) により計測するものである。

【0071】

測定用光束の位相変調のため、不図示のピエゾ素子で被検物7の被検面7a（基準原器8）を微小に変位可能としている。

測定手順及びノイズ低減の原理は、第一実施形態において説明した通りである。

【0072】

なお、本実施例では、平面フィゾーを移動して位相ステップを行っているが、被検面7a（基準原器8）を移動して位相ステップを行い、平面フィゾー21を微動した位相シフト干渉法を用いるようにしてもよい。

また、第三実施形態の面形状測定装置においては、レンズを用いたNull素子の例を示したが、回折光学素子（例えば、ゾーンプレート）を用いたNull

素子に対しても適用可能である。

【0073】

次に、図6は第四実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

第四実施形態にかかる面形状測定装置の光学系は、前述した図5に示す第三実施形態の面形状測定装置の平面フィゾー21を、光軸に対して所定の角度（但し、垂直を除く）に配置した構成である。

【0074】

他の構成は、第四実施形態にかかる面形状測定装置の構成と同様である。

平面フィゾー21をこのように配置することで、測定用光束と参照用光束の干渉縞の位相分布は、傾き角（光軸に対して垂直な面と、平面フィゾー21とのなす角）に対応した周波数の正弦波状の分布が加わったものとなる。

【0075】

この干渉縞の位相分布は、平面フィゾー21の傾きがない時の干渉縞の位相分布を空間的に位相変調したものとなり、位相シフト干渉法と同様に位相分布を検出することができる。

このような位相分布解析法に対しても本発明は適用可能である。被検物7の被検面7a（基準原器8）を光軸方向に移動して、測定用光束の位相を基準に対してステップさせる構成となっている。

【0076】

測定手順及びノイズ低減の原理は、第一実施形態において説明した通りである

次に、図7は第五実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示した図である。

31は2周波レーザ、32は $\lambda/4$ 板、33は反射ミラー、34は偏光板、35は2次元検出器、36はレンズであり、その他の構成は第一実施形態と同様である。

【0077】

わずかに周波数の異なる直交した偏光面を有する2周波レーザ31からの光束は、ビームエキスパンダ2を経てPBS3へ入射する。PBS3で反射する偏光面を有する周波数の光は、測定用光束として用いられ、PBS3で透過する偏光面を有する周波数の光は、参照用光束として用いられる。

【0078】

参照用光束は、 $\lambda/4$ 板32を経て反射平面33で反射された後、再び $\lambda/4$ 板32を経て、PBS3で反射され、偏光板34、ビーム径変換光学系9を経て2次元検出器35へ入射する。

一方、測定用光束は、 $\lambda/4$ 板4、ビームエキスパンダ5、レンズ36を経て被検物7の被検面7aへ入射する。

【0079】

ここで反射された測定用光束は往路と同じ光路を戻り、PBS3を透過して、偏光板34およびビーム径変換光学系9を経て2次元検出器35へ入射する。

偏光板34を介することにより、測定用光束と参照用光束のヘテロダインの干渉縞が得られる。

【0080】

このヘテロダインの干渉縞を解析することにより測定用光束と参照用光束の位相差を検出することができる。

被検物7の被検面7aの光軸方向の位置を移動して測定用光束の位相を基準に対してステップさせて、各ステップにおける測定用光束と参照用光束との位相差を検出し、その平均値を求めることで、ビームエキスパンダ5やレンズ36からの反射ノイズの影響を低減することができる。

【0081】

第五実施形態にかかる面測定装置における被検物7を基準原器8に代えて、前述した測定と同様の測定を行い、基準原器の干渉縞の位相分布を測定する。

被検面7aの各点における位相と、基準原器8の各点における位相との差を算出する。

【0082】

なお、本実施形態の面形状測定装置は位相分布の差を算出する機能を備えている。

第一実施形態～第五実施形態にかかる面形状測定装置を用いて投影レンズ用の光学素子の面精度測定し、所定の面精度に達成しない光学素子は、再度研磨され、面精度の測定を行う。所定の面精度を達成するまで、この工程を繰り返して

光学素子を製造する。

【0083】

次に、図8は、第六実施形態にかかる波面収差測定装置の概略を示す図である。

第六実施形態にかかる波面収差測定装置の概略を示す図である。

40は干渉部、41はフィゾーレンズ、42は投影レンズ、43は折り返し球面ミラーである。

【0084】

干渉部40は、第一実施形態～第五実施形態にかかる面形状測定装置における光源からフィゾーレンズ（Nullレンズ、平面フィゾー）の前までの構成に相当する。

干渉計部40からの光束はフィゾーレンズ41に入射し、フィゾー面41aからの反射光が参照用光束として用いられ、フィゾー面41aの透過光が測定用光束に用いられる。

【0085】

測定用光束は、投影レンズ42を透過して折り返し球面ミラー43で反射され、往路と同じ光路を戻る。

フィゾー面41aの球心と、折り返し球面ミラー43の球心とは、投影レンズ42の物体面と像面との関係にあるとともに、フィゾー面41aの球心と、折り返し球面ミラー43の球心とは、共役な位置関係にある。

【0086】

測定用光束と参照用光束の干渉縞の解析方法は、面形状測定用の干渉計と同様である。波面収差測定装置の光源波長は、投影露光装置に搭載される投影レンズに使用される光源と同一波長にするか、あるいは極力近い波長にすることが好ましい。

【0087】

位相ステップの方法としては、干渉計部40を光軸方向に移動させる方法と、折り返し球面ミラー43、投影レンズ42及びフィゾーレンズ41を光軸方向に等量移動させる方法とがあり、それぞれに対応したメカ的な機構が備えられてい

る。

【0088】

本実施形態の波面収差測定方法では、基準（初期位相）に対して、折り返し球面ミラー43、投影レンズ42及びフィゾーレンズ41の位相を0（初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせて、各位相における投影レンズ42の透過光（測定用光束）とフィゾーレンズ41のフィゾー面からの反射光（参照用光束）との干渉による位相差を測定し、その4つの測定値の平均値を算出する。

【0089】

各位相における位相差測定に際して、透過光（測定用光束）の位相変調（0 $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法または反射光（参照用光束）による位相シフト干渉法を用いる。

次に、図9を用いて第六実施形態にかかる波面収差測定装置を用いて被検物の透過波面を測定する動作・データ処理手順を説明する。

【0090】

図9は、測定動作・データ処理手順をフローチャートで示した図である。

第六実施形態にかかる波面収差測定装置の不図示の被検物用ホルダーに被検物（投影レンズ42）をセッティングし、干渉縞が極力粗くなるように被検物（投影レンズ42）をX軸、Y軸方向のシフト又はチルト、及びZ軸方向に微小量動かし、アライメントする（STEP1）。

【0091】

この最初の状態を参照用光束及び測定用光束の基準（初期位相）とする。

この状態において、被検物（投影レンズ42）を前述した位相シフト干渉法を用いて透過波面の位相分布D0を計測する（STEP2）。

次に、折り返し球面ミラー、被検物（投影レンズ42）及びフィゾーレンズを光軸方向に基準に対して $\pi/2$ 相当変位させる（STEP3）。干渉縞の位相分布は最初の状態（D0計測時）とほぼ同じ状態となっている。前述した位相シフト干渉法を用いて基準に対して $\pi/2$ 移動した位置における位相分布（透過波面の位相分布）D1を計測する（STEP4）。

【0092】

同様に、基準に対する位相ステップと干渉縞の位相分布計測を繰り返し、位相分布 D2、D3 を得る (STEP5~STEP8)。

次に、計測して得られた位相分布 D0~D3 の平均 DA を算出し、DA を測定用光束と参照よう光束との干渉縞の位相分布として、所定透過波面誤差算出プロセスに入力される (STEP9)。

【0093】

このように複数の位相分布を平均化する理由は、前述したようにノイズ光の影響を低減するためであり、ノイズ光の影響低減の原理は前述した通りである。

また、他の波面収差測定方法として、基準 (初期位相) に対して、折り返し球面ミラー 43 及び投影レンズ 42 の位相を 0 (初期位相) $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせて、各位相における投影レンズ 42 の透過光 (測定用光束) とフィゾーレンズ 41 のフィゾー面からの反射光 (参照用光束) との干渉による位相差を測定し、その 4 つの測定値の平均値を算出する方法がある。

【0094】

さらに、基準 (初期位相) に対して、フィゾーレンズ 41 のフィゾー面の位相を 0 (初期位相) $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせて、各位相における投影レンズ 42 の透過光 (測定用光束) とフィゾーレンズ 41 のフィゾー面からの反射光 (参照用光束) との干渉による位相差を測定し、その 4 つの測定値の平均値を算出する方法がある。

【0095】

また、投影レンズ内の反射光がノイズ光となる場合は、共役関係を満たすように折り返し球面ミラー 43 及びフィゾーレンズ 41 を移動させて位相ステップを行うようにしてもよい。

この際、折り返し球面ミラー 43 あるいはフィゾーレンズ 41 を光軸方向に微動して位相シフト干渉法を行う。

【0096】

なお、第一実施形態~第五実施形態にかかる面形状測定装置及び第六実施形態にかかる波面収差測定装置の測定においては、基準 (初期位相) に対する位相変化量を $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ としたが、例えば $0 \rightarrow \pi/4 \rightarrow \pi/2 \cdots 3$

$\pi/2 \rightarrow 7\pi/4$ のように位相変化量のステップを細かくしてもよい。また、位相変化のステップをランダム的に与えて平均化効果を得るようにしてもよい。

【0097】

前述した所定の面精度を有する光学素子を鏡筒に組み込んで、投影露光装置用の投影レンズを製造する。

かかる投影レンズの波面収差を、第六実施形態にかかる波面収差測定装置により測定し、所定の波面収差に達成しない投影レンズは、再度組み立て調整し、波面収差の測定を行う。所定の波面収差に達成するまで、この工程を繰り返して高精度な投影レンズを製造する。

【0098】

【発明の効果】

以上説明した通り、本発明にかかる面形状測定装置によれば、ノイズ光の位相に対して測定用光束、又は参照用光束の位相関係をずらして平均操作を行うことにより、ノイズ光の影響を低減することができ、高精度な面形状測定装置および波面収差測定装置を提供することができる。

【0099】

さらに、本発明の面形状測定装置および波面収差測定装置を用いて投影レンズを製作することにより、より高精度な投影レンズを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第一実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図2】 第一実施形態にかかる面形状測定装置の測定及びデータ取得の手順を示す図である。

【図3】 第一実施形態にかかる面形状測定装置の測定用光束の複素振幅及び参照用光束の複素振幅を複素平面上に表したものである。

【図4】 第二実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図5】 第三実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図6】 第四実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図7】 第五実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図8】 第六実施形態にかかる波面収差測定装置の概略を示す図である。

【図9】 第六実施形態にかかる波面収差測定装置の測定及びデータ取得の手順を示す図である。

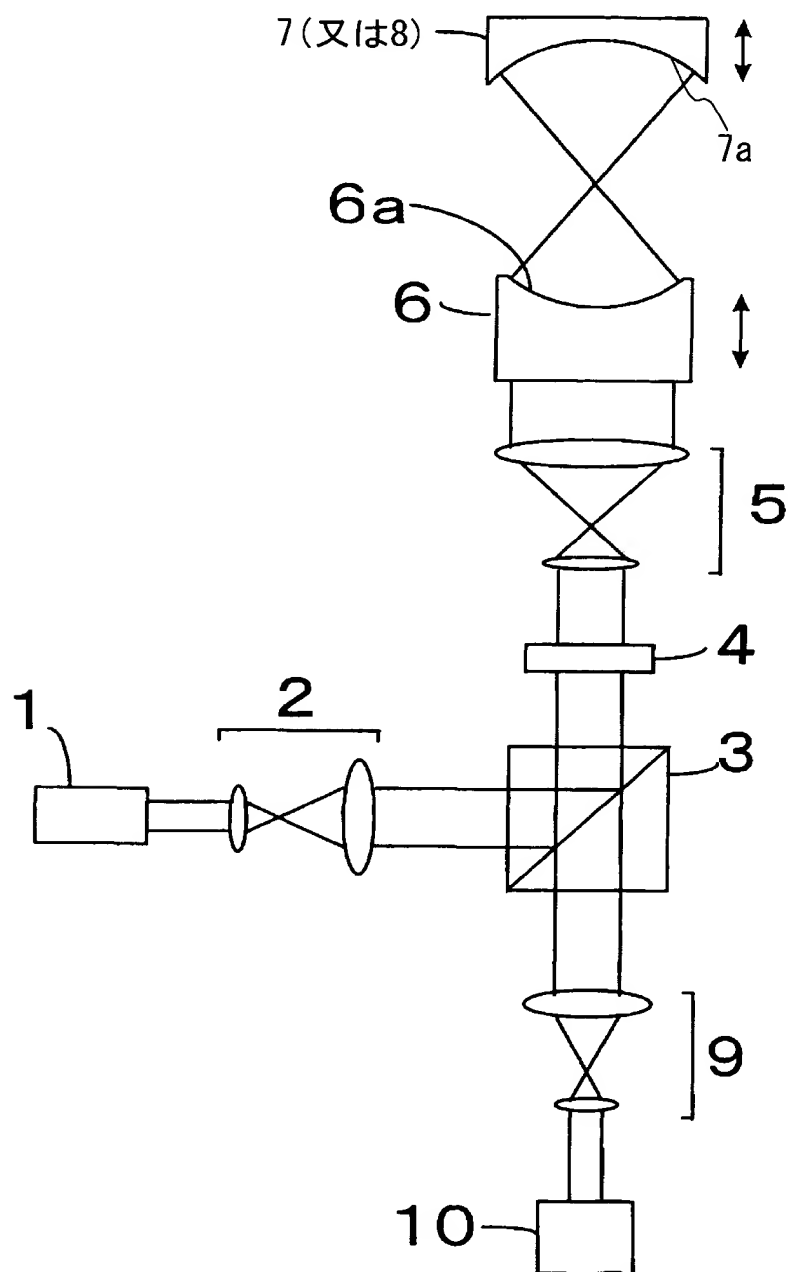
【符号の説明】

- 1 . . . レーザ光源
- 2、5 . . . ビームエキスパンダ
- 3 . . . 偏光ビームスプリッタ
- 4、32 . . . $\lambda/4$ 板
- 6、41 . . . フィゾーレンズ
- 6a、41a . . . フィゾー面
- 7 . . . 被検物
- 8 . . . 基準原器
- 9 . . . ビーム径変換光学系
- 10 . . . 2次元画像検出器
- 11、36 . . . レンズ
- 12 . . . フィゾー部材
- 12a . . . フィゾー面
- 21 . . . 平面フィゾー
- 21a . . . フィゾー面
- 22 . . . Null レンズ
- 31 . . . 2周波レーザ
- 33 . . . 反射ミラー
- 34 . . . 偏光板
- 35 . . . 2次元検出器
- 36 . . . レンズ
- 40 . . . 干渉計部
- 42 . . . 投影レンズ
- 43 . . . 折り返し球面ミラー

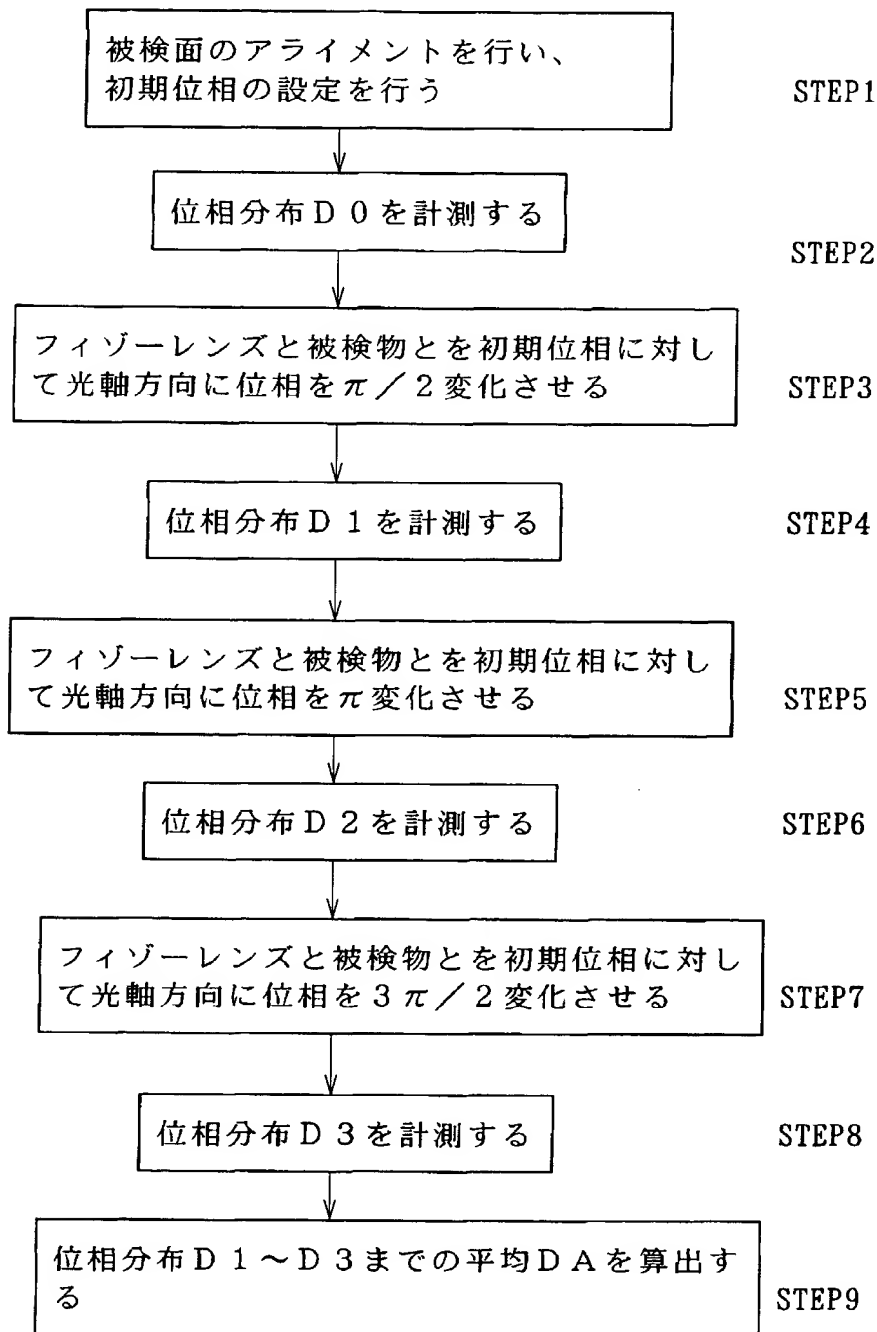
【書類名】

図面

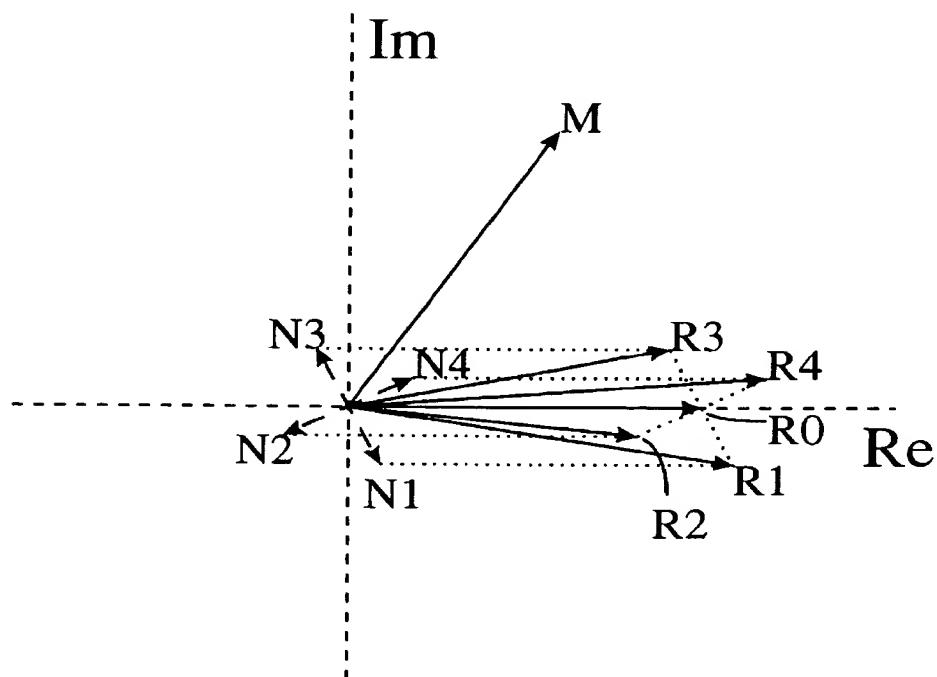
【図 1】



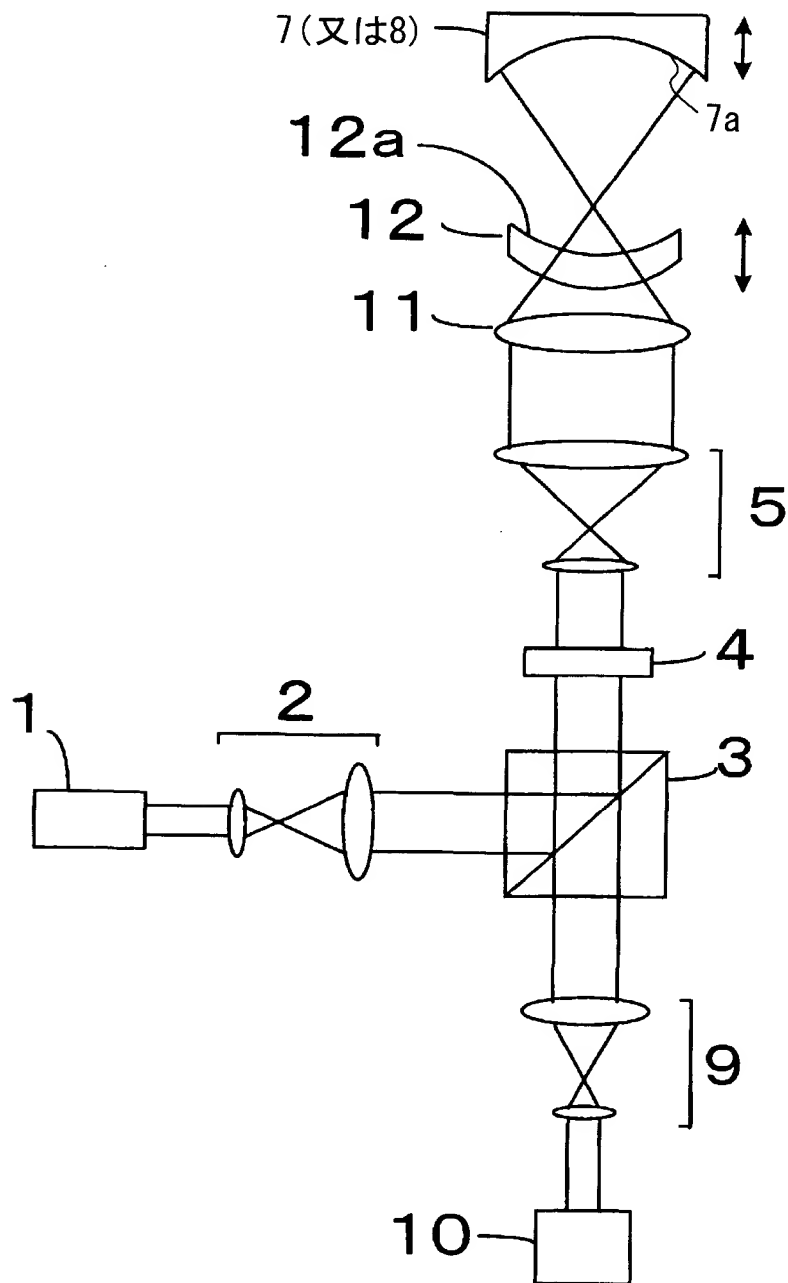
【図 2】



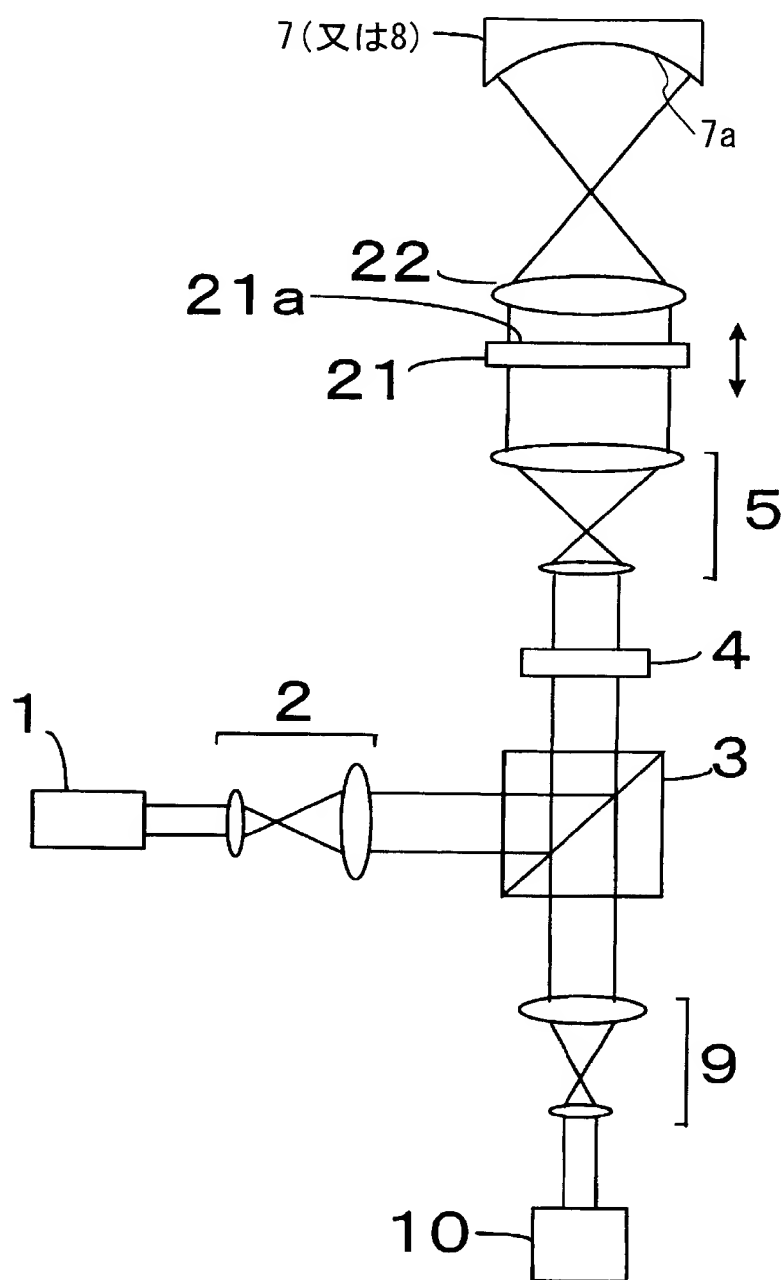
【図 3】



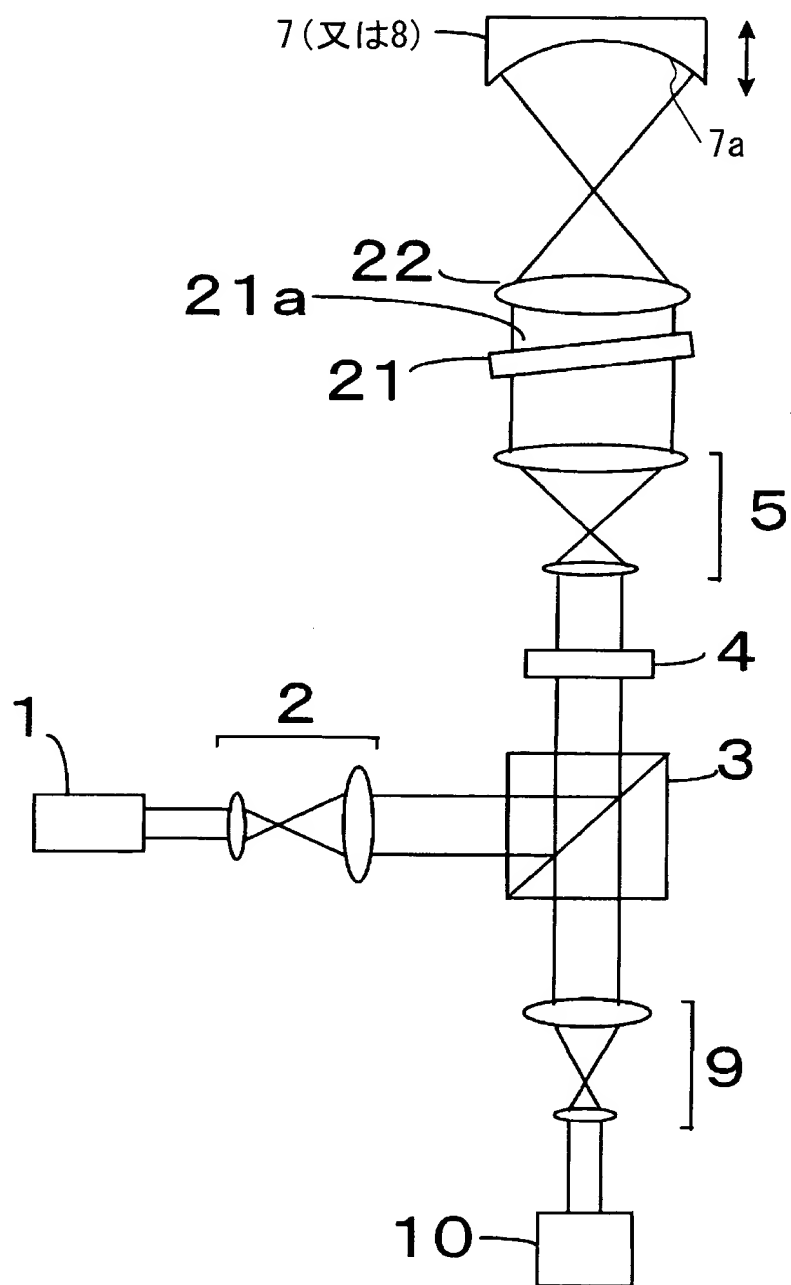
【図 4】



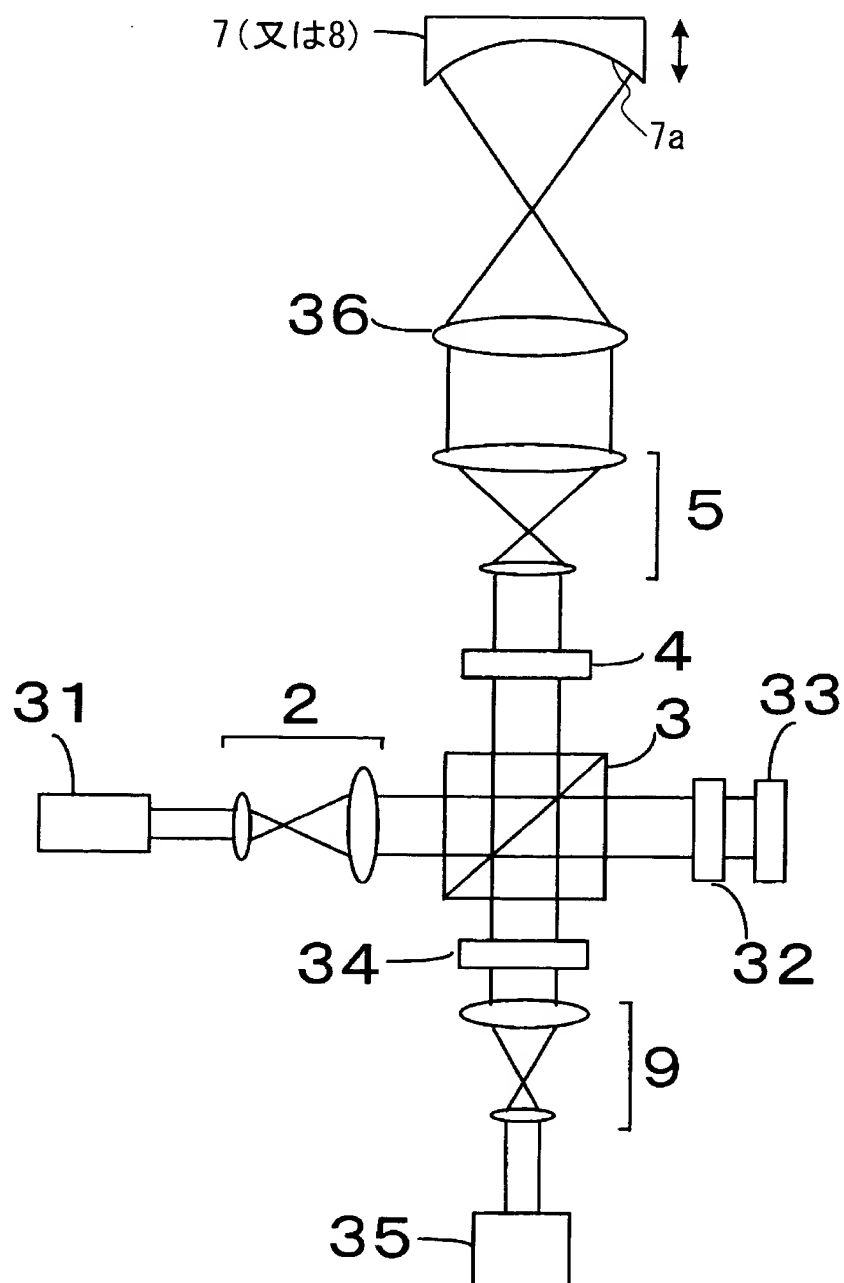
【図 5】



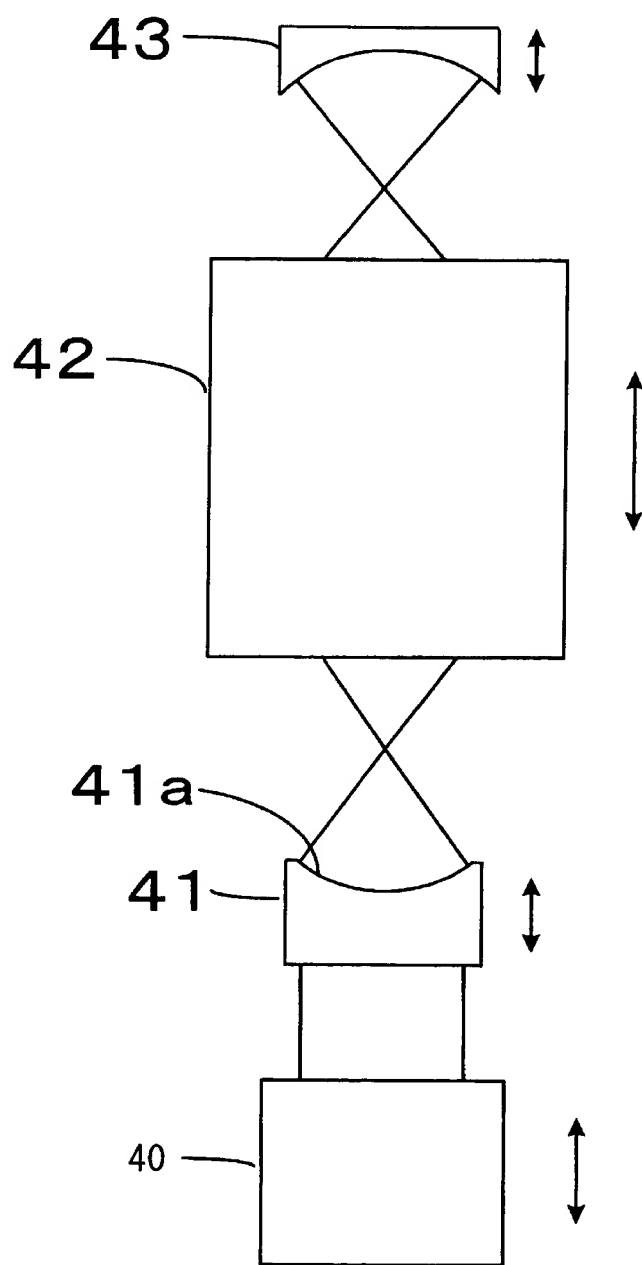
【図 6】



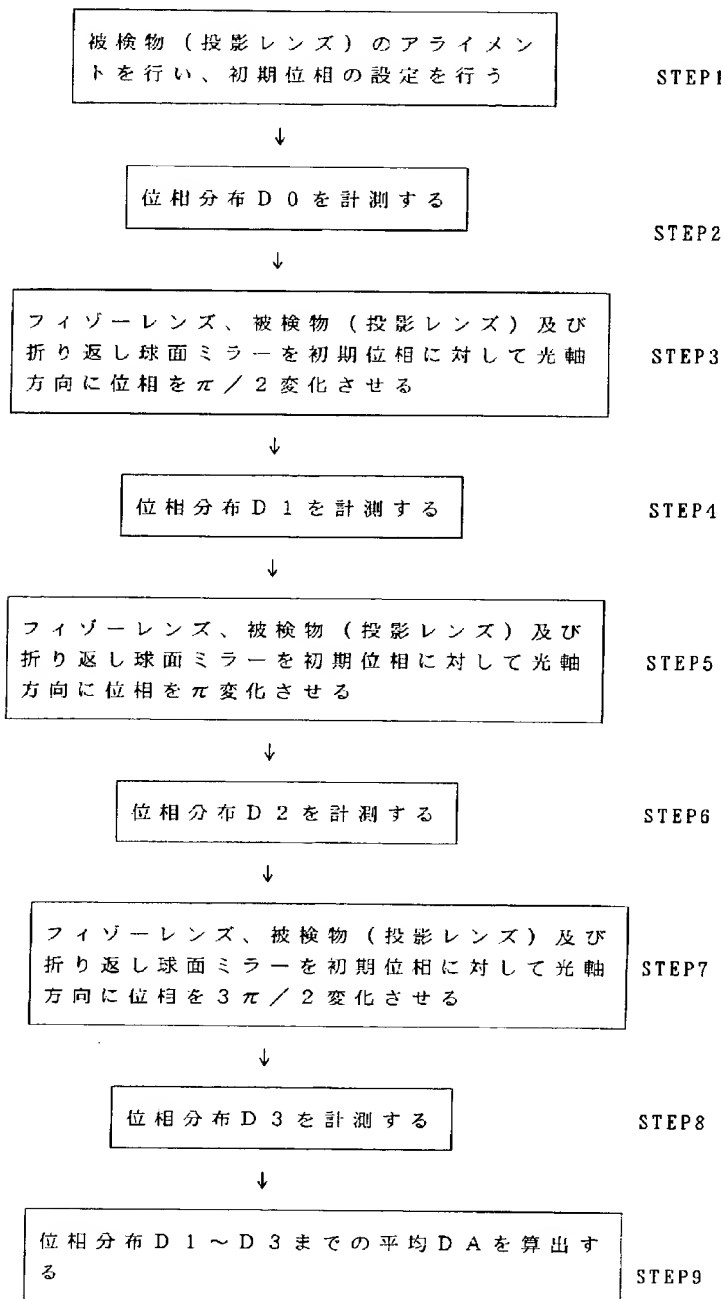
【図 7】



【図 8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 レンズ、ミラーなどの光学素子等の面形状を高精度に測定できる面形状測定装置及び投影レンズの波面収差を高精度に測定できる波面収差測定装置を提供する。

【解決手段】 光源から出射された光の一部である被検面から反射された測定用光束と、前記光源から出射された光の他の一部である基準波面を有する参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

前記装置内のある基準に対して前記参照用光束及び前記測定用光束との位相を変化させる機構と、前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の位相状態における各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えた面形状測定装置。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 1 - 0 7 9 6 9 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 1 1 2]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

氏 名

株式会社ニコン